

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 03288406 A

(43) Date of publication of application: 18 . 12 . 91

(51) Int. Cl

H01F 1/34
C04B 35/00

(21) Application number: 02090747

(71) Applicant: MURATA MFG CO LTD

(22) Date of filing: 04 . 04 . 90

(72) Inventor: KONOIKE TAKEHIRO
TAMURA HIROSHI

**(54) MAGNETIC-SUBSTANCE COMPOSITION FOR
MICROWAVE AND MILLIMETER WAVE USE**

(57) Abstract:

PURPOSE: To reduce a ferromagnetic resonance absorption half-width (ΔH) by a method wherein one part of an Fe site of a YIG ferrite expressed by $Y_wFe_{8-w}O_{12}$ as a general formula is substituted for Mn and cobalt oxide and zirconium oxide are added simultaneously.

CONSTITUTION: A magnetic-substance composition for microwave and millimeter wave use is composed mainly of a composition in which, in a composition expressed by $(Y_{1-x}Gd_x)_w(Fe_{1-y-z}Al_yMn_z)_{8-w}O_{12}$, x, y, z and w are within respective ranges of $0 \leq x \leq 0.35$, $0 \leq y \leq 0.16$, $0.01 \leq z \leq 0.04$

and $3.02 \leq w \leq 3.06$; 0.05mol% or higher and 0.2mol% or lower of cobalt oxide expressed in the form of CoO and zirconium oxide expressed in the form of ZrO_2 are added to it, respectively. By using the composition, a saturation magnetization $4\pi Ms$ can be set arbitrarily within a range of 320 to 1750 gauss. Consequently, a material having a value of $4\pi Ms$ which is most suitable for a frequency for which the composition is used can be selected. In addition, since a temperature coefficient α can be set arbitrarily within a range of -820 to -2250ppm/ $^{\circ}C$, the temperature characteristic of a magnet can be compensated when the composition is used by being combined with a permanent magnet or the like.

COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio

⑨日本国特許庁(JP) ⑩特許出願公開
⑪公開特許公報(A) 平3-288406

⑫Int.Cl.
H 01 F 1/34
C 04 B 35/00

識別記号 J
J

厅内整理番号 6781-5E
8924-4G

⑬公開 平成3年(1991)12月18日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑭発明の名称 マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物

⑮特 願 平2-90747
⑯出 願 平2(1990)4月4日

⑰発明者 鴻池 錠 弘 京都府長岡市天神2丁目26番10号 株式会社村田製作所
内
⑱発明者 田村 博 京都府長岡市天神2丁目26番10号 株式会社村田製作所
内
⑲出願人 株式会社村田製作所 京都府長岡市天神2丁目26番10号
⑳代理人 弁理士 和田 昭

明細書

1. 発明の名称

マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物

2. 特許請求の範囲

$(Y_{1-x}Gd_x)_z (Fe_{1-y}Mn_y)_{1-z}O_{1.5}$ で表わされる組成において、 x 、 y 、 z および α がそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.16$ 、 $0.01 \leq z \leq 0.04$ 、 $3.02 \leq \alpha \leq 3.05$ の範囲にある組成を主成分とし、これに CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムをそれぞれ 0.05 モル%以上、 0.2 モル%以下添加含有してなるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物。

3. 発明の詳細な説明

<産業上の利用分野>

この発明は、マイクロ波やミリ波などの高周波領域において使用される磁性体組成物に関するものである。

<従来の技術>

従来、高周波用磁性体材料としては、 Mn - Fe フェライト、 Ni - Zn フェライト、リチウムフェラ

イト、 YIG フェライトなどが用いられている。これらは、飽和磁化($4 \pi M_s$)の値が $500 \sim 4000$ ガウスを有する優れた材料である。

これらの中でも YIG フェライトは、米国特許第3,132,105号に示されているように、 $Y_2Fe_0.83$ からなる組成物に Gd と Mn を置換することによって $4 \pi M_s$ および $4 \pi M_s$ の温度係数(α)を変化させることができるため、その使用する周波数に最も適した $4 \pi M_s$ の値を有する材料を選択でき、かつ永久磁石と組み合わせて使用する場合にはその磁石の温度特性を補償することができるという優れた材料であり、高安定なアイソレーター・やサーチューレーターなどの回路素子に応用可能な材料である。

また、米国特許第3,419,496号によれば、この材料は体積抵抗率 ρ が $7.0 \times 10^6 \Omega \cdot cm$ と低いが、 MnO_2 を添加することにより ρ を $4.8 \times 10^{10} \Omega \cdot cm$ まで高められるとされている。さらに、特公昭60-55970号公報によれば、原料の Y_2O_3 と Fe_2O_3 の混合比をそれぞれ38.63 ~

39.45 モル%および 61.37 ~ 60.55 モル%としたときに強磁性共鳴吸収半価幅 (ΔH) を 16 エルス テッドにまで小さくできるとされている。

<発明が解決しようとする課題>

しかしながら、YIG フェライトは、 ΔH や誘電損失 ($\tan \delta$) 等の損失の値が微妙な組成の変動によって実用上支障をきたすほど大きくなるという欠点を有している。また、位相変換用粒子としてこの材料を用いる場合、高い残留磁束密度 (B_r) が必要となるが、 B_r を大きくすると $\tan \delta$ も大きくなってしまうという問題点がある。

この発明は上記の問題点に鑑みて、従来の YIG フェライトの欠点を改良すべくなされたものであり、 $Y_xFe_{1-x}O_3$ の一般式で表わされる YIG フェライトの Y の一部を Gd で置換して α を任意の値に設定できるようにし、かつ Fe の一部を Mn で置換して $4\pi M_s$ を任意の値に設定できるようにするとともに、Fe の一部を Mn で置換すると同時に酸化コバルトと酸化ジルコニウムを添加して各

$3.02 \leq x \leq 3.06$ の範囲にある組成を主成分とし、これに CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_3 の形で表わした酸化ジルコニウムをそれぞれ 0.05 モル% 以上、0.2 モル% 以下添加含有してなることを特徴としている。

<作用>

この発明によれば、 $4\pi M_s$ を 320 ~ 1750 ガウスの範囲で任意に設定でき、従って、その使用する周波数に最も適した $4\pi M_s$ の値を有する材料を選択できる。

また、 α を -820 ~ -2550 ppm/ °C の範囲で任意に設定できるため、永久磁石などと組み合させて用いる場合に磁石の温度特性を補償することができる。

更に、 B_r が高く、かつ ΔH や $\tan \delta$ 等の損失の値がきわめて小さいため、ラッチング型位相変換器や高精度のアイソレーターおよびサーチューレーターへの応用に適したマイクロ波・ミリ波用磁性体を得ることができる。

上述したこの発明の目的、特徴および利点につ

わめて小さい ΔH の値を実現し、さらに、Y サイトと Fe サイトの比をごく限られた狭い範囲に固定することにより大きな B_r の値と小さな $\tan \delta$ の値を同時に実現させたマイクロ波・ミリ波用磁性体材料を提供することを目的とする。

<課題を解決するための手段>

本発明者らはかかる問題点を解決するために試験研究した結果、 $Y_xFe_{1-x}O_3$ の一般式で表わされる YIG フェライトの、Fe サイトの一部を Mn で置換すると同時に酸化コバルトと酸化ジルコニウムを添加することによってきわめて小さい ΔH が得られることを見出し、さらに Y サイトと Fe サイトの比 x が 3.02 と 3.06 の間のごく狭い領域で大きな B_r と小さな $\tan \delta$ を同時に実現できることを見出したのである。

即ち、この発明のマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物は、上記の問題点を解決するためには $(Y_{1-x}Gd_x)_x(Fe_{1-y}Co_yMn_z)_{1-x}O_3$ で表わされる組成において、 x 、 y 、 z および α がそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.16$ 、 $0.01 \leq z \leq 0.04$ 、

いて、以下図面を参照して実施例により説明する。

<実施例>

先ず、原料として、高純度の Y_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Gd_2O_3 、 MnO_2 、 Co_2O_3 および ZrO_3 を準備した。これらの原料を第 1 表、第 2 表および第 3 表に示す組成が得られるように秤量し、ポールミルで 16 時間湿式混合した。この混合物を乾燥した後、1050°C で 2 時間仮焼し、仮焼物を得た。この仮焼物を有機バインダーと共に、ポールミルに入れ、16 時間湿式粉砕した。この粉砕物を乾燥した後、50 メッシュの網を通して造粒し、得られた粉末を 2000 kg/cm^2 の圧力で $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ の角柱に成形した。この成形物を 1460 ~ 1490°C で 8 時間焼成した後、機械加工により直徑 1.3 mm の球および直徑 1.3 mm、長さ 16 mm の円柱のサンプルを得た。

得られた球形サンプルについて、振動型磁力計を用いて $4\pi M_s$ およびキューリー温度 (T_c) を測定し、TE106 空間共振器中で 10GHz における

ΔH を測定した。

また、円柱形サンプルについて、TH101・空調共振器中で振動法を用いて 10GHz における $\tan \delta$ を測定した。

第 1 表は $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 x および y を変化させ、かつ CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムの添加量を変化させたときの測定結果である。第 1 表中 *印はこの発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。さらに、第 1 表に示した実験例の組成範囲を、第 1 図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。なお、第 1 図において、この発明の範囲内にある組成比を示す領域は、頂点 A、B、C および D を有する四角形で示されている。

ここで、 $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 x および y をそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.16$ の範囲に限定した理由について説明する。

好ましくない。

ここで、 ZrO_2 の作用は、原子価が 2 価のコバルトイオンを原子価が 4 価のジルコニウムイオンで原子価を互いに補償し、合計で 3 価にして $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 $(Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y$ サイトに電荷的に無理なくそれぞれのイオンを組込むことにある。従って、 ZrO_2 の代わりに SiO_2 、 TiO_2 、 GeO_2 、 SnO_2 、 HfO_2 等の 4 価イオンの酸化物を用いても同様の効果を得ることができる。

次に、第 2 表は、 $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 z を変化させたときの測定結果である。

第 2 表中の試料番号 26～30 は、第 1 表中の試料番号 4 の組成について z を変化させたものであり、第 2 表中の試料番号 31～35 は、第 1 表中の試料番号 11 の組成について z を変化させたものであり、第 2 表中の試料番号 36～40 は、第 1 表中の試料番号 18 の組成について z を変化させたものである。

試料番号 7、14、21 および 25 のように y が 0.16 を越えると B_r が小さくなるとともに、 T_c が低くなり好ましくない。

また、試料番号 22、23、24 および 26 のように x が 0.35 を越えると ΔH が大きくなり好ましくない。

次に、 CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムの添加量をそれぞれ 0.05 モル% 以上、0.2 モル% 以下に限定した理由について説明する。

まず、試料番号 2、9 および 16 は CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ 0 モル% の例であり、この発明の範囲から除外される。

試料番号 3、10 および 17 のように CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ 0.05 モル% 以下のものは、 ΔH の改善効果が顕著でなく、この発明の範囲から除外される。

試料番号 5、12 および 19 のように CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ 0.2 モル% を越えるものは、 ΔH が大きくなるとともに B_r が小さくなり

好ましくない。

第 2 表中 *印は、この発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。尚、第 2 表に示した実験例の組成範囲を、第 1 表と同じく第 1 図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。

ここで、 $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 z を $0.01 \leq z \leq 0.04$ に限定した理由について説明する。

試料番号 26、31 および 36 のように z が 0.01 以下になると、 ΔH が大きくなり好ましくない。

また、試料番号 30、35 および 40 のように z が 0.04 以上になると、 ΔH が大きくなり好ましくない。

最後に、第 3 表は $(Y_{1-x}Gd_x)_x (Fe_{1-y-z}M_xMn_y)_y - 0_{z-x}$ で表わされる組成の、 y を変化させたときの測定結果である。

第 3 表中の試料番号 41～45 は、第 1 表中の試料番号 4 の組成について y を変化させたものであり、第 3 表中の試料番号 46～50 は、第 1 表中の試料番号 11 の組成について y を変化させたものであ

り、第3表中の試料番号51～55は、第1表中の試料番号16の組成について1を変化させたものである。

第3表中△印は、この発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。なお、第3表に示した実験例の組成範囲を、第1表、第2表と同じく第1図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。

ここで、 $(Y_{1-6}6d_x)$ 、 $(Fe_{1-6}Mn_x)$ 、 D_{1-6} で表わされる組成の、 τ を $3.02 \leq \tau \leq 3.06$ の範囲に限定した理由について第3表および第2図を参考して説明する。

試料番号41、46および51のように α が3.02以下になると、 $\tan \delta$ が大きくなり好ましくない。

また、試料番号45、50および55のように δ が3.05以上になると、 ΔH が大きくなるとともに、 B_e が小さくなり好ましくない。

第2図は、試料番号46~50について($Y_{1-5}Gd_{0.5}$)-(Fe_{1-x}Mn_x)_{0.5}-0₂の γ とtan δ の常用対数値(log tan δ)およびBrの関係を図示した。

ものである。第2図から明らかのように、 γ が $3.02 \leq \gamma \leq 3.06$ の範囲のみにおいて大きな B_{cr} と小さな $\tan \delta$ が同時に実現可能である。なお、第2図中の番号は、各試料番号を表わす。

舞 1 蹈

品番	(Y _{1-x} Gd _x) _a (Fe _{1-y-z} Mn _y Mn _z) _b - O _c				CoO 添加量 (ppm)	ZrO ₂ 添加量 (ppm)	4 × K ₀ (#92)	α ppm/°C	ΔH (10ΔH _{eff})	tan δ (×10 ⁻¹)	Br (#92)	Hc (10ΔH _{eff})	Tc (°C)
	x	y	z	w									
1 2#	0 0.06	0 0.06	0.02 0.02	3.04 3.04	0.1 0.1	0.1 0.1	1750 1220	-2450 -2520	25 29	8.2 7.0	1410 1005	0.64 0.72	260 215
3# 4# 5# 6# 7#	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	0.01 0.1 0.5 0.1 ✓	0.01 0.1 0.5 0.1 ✓	1220 1190 750 330	-2510 -2470 -2550 -2640	27 51 25 38	7.7 8.5 8.0 12.7	990 750 880 260	0.71 0.60 0.80 0.70 1.10	210 160 180 90
8 9# 10# 11 12# 13 14#	0.28 0.06 0.06 ✓ ✓ ✓ ✓	0 ✓ ✓ ✓ ✓ 0.16 0.20	0.02 ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	3.04 ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	0.1 0.01 0.01 0.1 0.1 0.1 ✓	0.1 0.01 0.01 0.1 0.1 0.1 ✓	1470 800 2000 1950 1840 1240 2390	-2050 -2010 -2000 -1950 -1940 -2240 -2390	25 33 32 17 61 30 39	6.5 6.3 6.2 6.8 6.8 8.4 9.5	1220 755 750 720 580 180 220	0.68 0.71 0.70 0.69 0.81 0.80 0.83	280 235 230 190 110
15 16# 17# 18 19# 20 21#	0.35 0.06 0.06 ✓ ✓ ✓ ✓	0 ✓ ✓ ✓ ✓ 0.16 0.20	0.02 ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	3.04 ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	0.1 0.01 0.01 0.1 0.1 0.1 ✓	0.1 0.01 0.01 0.1 0.1 0.1 ✓	1120 700 800 630 670 320 170	-740 -918 -900 -890 -870 -1060 -1270	32 42 40 29 58 36 49	9.9 13.5 13.4 12.1 14.9 13.6 14.0	910 680 680 650 440 230 140	0.72 0.62 0.60 0.76 0.81 0.81 0.72	260 220 230 230 170 100
22# 23# 24# 25#	0.42 0.06 0.06 0.20	0 ✓ ✓ ✓	0.02 ✓ ✓ ✓	3.04 ✓ ✓ ✓	0.1 0.1 0.1 ✓	0.1 0.1 0.1 ✓	970 970 210 120	-630 -640 -650 -650	74 91 93 97	12.5 13.2 14.6 15.0	810 410 90 70	0.83 0.96 1.10 1.02	260 210 160 85

第 2 表

番号	(Y _{1-x} Gd _x) _a (Fe _{1-y-z} M _y Mn _z) _b O _c				CaO モル比 (t/t ₂)	ZrO ₂ モル比 (t/t ₃)	4 π Ms (G)	α ppm/℃	ΔH (100J·F)	tan δ (×10)	Br (G)	Hc (1000G·F)	Tc (℃)
	x	y	z	w									
25系	0	0.08	0	3.04	0.1	0.1	1180	-2430	45	7.8	870	0.85	210
27	〃	〃	0.01	〃	〃	〃	1220	-2500	34	8.8	880	0.72	220
28	〃	〃	0.02	〃	〃	〃	1180	-2510	15	7.7	860	0.71	210
29	〃	〃	0.04	〃	〃	〃	1180	-2330	28	9.2	940	0.69	210
30系	〃	〃	0.06	〃	〃	〃	1160	-2250	33	13.6	960	0.91	〃
31系	0.20	0.08	0	3.04	0.1	0.1	890	-2070	62	6.1	740	0.75	220
32	〃	〃	0.01	〃	〃	〃	800	-1970	40	4.8	〃	0.68	240
33	〃	〃	0.02	〃	〃	〃	860	-1990	17	6.0	720	0.69	230
34	〃	〃	0.04	〃	〃	〃	870	-1870	24	9.4	720	0.73	〃
35系	〃	〃	0.06	〃	〃	〃	870	-1910	77	21.6	〃	0.81	220
36系	0.35	0.08	0	3.04	0.1	0.1	890	-870	56	12.4	830	0.77	220
37	〃	〃	0.01	〃	〃	〃	700	〃	59	11.5	840	0.81	210
38	〃	〃	0.02	〃	〃	〃	680	-930	20	12.1	850	0.76	220
39	〃	〃	0.04	〃	〃	〃	660	-960	44	19.4	820	0.78	210
40系	〃	〃	0.06	〃	〃	〃	640	-940	82	29.6	860	0.83	〃

第 3 表

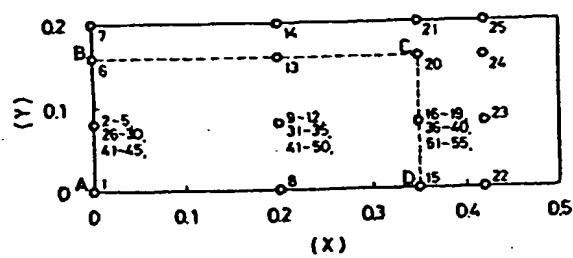
番号	(Y _{1-x} Gd _x) _a (Fe _{1-y-z} M _y Mn _z) _b O _c				CaO モル比 (t/t ₂)	ZrO ₂ モル比 (t/t ₃)	4 π Ms (G)	α ppm/℃	ΔH (100J·F)	tan δ (×10)	Br (G)	Hc (1000G·F)	Tc (℃)
	x	y	z	w									
41系	0	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	1240	-2510	28	1173.5	810	0.85	220
42	〃	〃	〃	3.02	〃	〃	1220	-2440	26	20.1	830	0.71	〃
43	〃	〃	〃	3.04	〃	〃	1220	-2510	15	7.7	850	〃	210
44	〃	〃	〃	3.06	〃	〃	1210	-2410	26	1.9	820	0.63	〃
45系	〃	〃	〃	3.08	〃	〃	1180	-2330	35	8.9	880	0.57	〃
46系	0.20	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	910	-1870	30	1324.9	830	0.73	240
47	〃	〃	〃	3.02	〃	〃	880	-1910	25	18.8	710	0.70	220
48	〃	〃	〃	3.04	〃	〃	900	-1890	17	6.0	730	0.63	230
49	〃	〃	〃	3.06	〃	〃	880	-1870	27	6.8	850	0.66	240
50系	〃	〃	〃	3.08	〃	〃	890	-1850	33	6.5	840	0.66	220
51系	0.35	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	720	-850	35	1226.3	860	0.77	220
52	〃	〃	〃	3.02	〃	〃	830	-830	31	16.5	840	0.74	〃
53	〃	〃	〃	3.04	〃	〃	850	〃	20	12.1	850	0.76	230
54	〃	〃	〃	3.06	〃	〃	870	-780	32	11.9	770	0.75	210
55系	〃	〃	〃	3.08	〃	〃	870	-780	45	14.8	800	0.77	〃

以上、詳細に説明した通り、この発明にかかるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物は十分に小さい ΔH と十分に小さい $\tan \delta$ を有し、かつ高い T_c と大きな B_r を有しているため、ラッチング型位相変換器や高安定なアイソレーター・サーキュレーターなどの回路素子への応用に大変有用な材料である。さらに、 $(Y_{1-x}Gd_x)_z (Fe_{1-y}Mn_y)_{1-y}$ の化学式で表わされる x および y をこの発明の範囲内で適宜変化させることによって、 $4\pi M_s$ を $320 \sim 1750$ ガウスの範囲で任意に設定でき、かつ、 α を $-820 \sim -2550$ ppm/°C の範囲で任意に設定できる。従って、その使用する周波数に最も適した $4\pi M_s$ の値を有する材料を選択できるとともに、永久磁石などと組み合わせて用いる場合に磁石の温度特性を補償することができる。

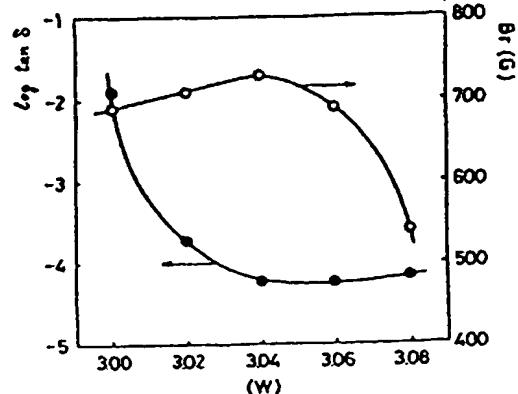
4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明にかかるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物の、 $(Y_{1-x}Gd_x)_z (Fe_{1-y}Mn_y)_{1-y}$ の x および y の組成範囲を表わす

第1図



第2図



手続補正書 (自発)

平成2年7月4日

特許庁長官 殿

1. 事件の表示

平成2年特許願第90747号

2. 発明の名称

マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住 所 京都府長岡京市天神二丁目26番10号

名 称 (623) 株式会社村田製作所

方 式
審査

4. 代理 人

住 所 大阪市北区中津1丁目18番1号

若杉ビル

氏 名 (6757) 井理士 和田 肇

電話 (06) 373-1355

5. 補正の対象

明細書の「発明の詳細な説明」の箇

特許庁

6. 補正の内容

(1) 明細書第6頁13行目～第7頁4行目

「粉末を2000kg/cm²の圧力で～tan δを測定した。」を次の通り訂正します。

「粉末を2000kg/cm²の圧力で3mm×3mm×20mmの角柱および外径36mm、内径24mm、厚さ6mmのリングに成形した。これらの成形物を1460～1490℃で8時間焼成した。このうち角柱焼結体について機械加工を行ない、直徑1.3mmの球および直徑1.3mm、長さ16mmの円柱のサンプルを得た。

得られたサンプルのうち球形サンプルについて、振動型磁力計を用いて4πMs、4πMsの温度係数(α)およびキュリー温度(Tc)を測定し、TE106空洞共振器中で10GHzにおける△Hを測定した。

また、円柱形サンプルについて、TM101空洞共振器中で振動法を用いて

10GHzにおけるtan δを測定した。

さらに、リング状サンプルについて、導線をバイファイラー巻きにしてトロイダルコイルを形成し、100Hzにおける残留磁束密度(Br)および抗磁力(Hc)を測定した。」